Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 423-435

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۴۳۵-۴۲۳

مقاله پژوهشی

اثر پودر پنیر و امواج فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی بدون گلوتن

بهاره صحرائیان[1]- فاطمه پورحاجی[2]*- بهروز علیزاده بهبهانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲

چکیده

در این تحقیق از پودر پنیر در چهار سطح صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد و امواج فراصوت با شدت صفر، ۳۰ و ۷۰ درصد جهت بهبود کیفیت کیک روغنی بر پایه مخلوطی از آردهای بدون گلوتن برنج (۷۰ درصد)، کینواً جوانه‌زده (۱۵ درصد) و سیب‌زمینی (۱۵ درصد) استفاده شد و رطوبت، حجم مخصوص، سفتی بافت، رنگ پوسته و بافت درونی، ویژگی‌های حسی (فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی و پائینی، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، عطر و مزه و پذیرش کلی)، تخلخل و ریز ساختار نمونه‌های تولیدی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد، افزایش پودر پنیر و شدت امواج فراصوت سبب افزایش کیک از ۱۷/۹ درصد (نمونه شاهد) به ۲۵/۱ درصد (نمونه ۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد) شد. این در حالی بود که نمونه حاوی ۶ درصد پودر پنیر و تحت تأثیر امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد از حجم مخصوص (۴/۴ سانتی‌متر مکعب بر گرم) و تخلخل (۳۱/۱ درصد) بیشتر و سفتی بافت کمتری (به‌ترتیب ۳/۴ و ۵/۳ نیوتون در بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت) در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بود. همچنین نتایج نشان داد، افزایش پودر پنیر تا ۶ درصد سبب افزایش مؤلفه L^* (از ۴۴/۹ به ۵۳/۵) و تا سطح ۹ درصد سبب افزایش مؤلفه a^* (از ۲/۶ به ۸/۴) پوسته کیک‌های بدون گلوتن تولیدی شد. از سوی دیگر نتایج حاکی از آن بود که افزایش درصد شدت امواج فراصوت منجر به افزایش مؤلفه رنگی L^* (از ۶۰/۳ به ۷۷/۹) و کاهش مؤلفه رنگی b^* (۱۷/۳ به ۷/۹) بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن شد. یافته‌های به‌دست آمده از ارزیابی حسی و امتیاز پذیرش کلی نیز حاکی از برتری نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر تحت تأثیر امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد به‌ترتیب با امتیاز ۴/۲ و ۴/۴ بود. همچنین بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی و تصاویر دودویی نمونه‌های برتر (ریزساختار- میکروساختار) گواه انسجام و پیوستگی ساختار درونی و شبه شبکه موجود در کیک‌های بدون گلوتن حاوی پودر پنیر در مقایسه با شاهد بود.

واژه‌های کلیدی: بدون گلوتن، امواج فراصوت، کینواً جوانه‌زده، تخلخل، ریزساختار.

مقدمه

یکی از جذابیت‌های پودرهای لبنی در محصولات بدون گلوتن، ارزش تغذیه‌ای آن به لحاظ کلسیم بالا، پروتئین و اسید آمینه‌های ضروری (لیزین، متیونین و تریپتوفان) است (Moor *et al*, 2004). تحقیقات نشان می‌دهد پودرهای لبنی با تشکیل فیلم‌های بین سطحی به تقویت شبکه گلوتنی فراورده‌های نانوایی حاوی آرد گندم و شبه شبکه گلوتنی در محصولات بدون گلوتن کمک می‌کنند و قابلیت افزایش نگهداری آب در خمیر و محصول نهایی را دارند و از این طریق سبب بهبود ویژگی‌های ظاهری و حسی و به تأخیر انداختن بیاتی این دسته از محصولات می‌شوند(Stathopoulus, 2008 & Okennedy). بیماری سلیاک منجر به سوءجذب مواد مغذی و آسیب مخاط روده می‌شود. تغذیه این دسته از افراد باید به صورت مادام العمر بدون گلوتن باشد (Skodje *et al*, 2018؛ Niland & Cash, 2018). گلوتن تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید نان، کیک، کلوچه و بیسکوئیت یاد می‌شود و فقدان آن در فراورده‌های نانوایی مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند (Morreale *et al*, 2018). بهترین جایگزین گلوتن در محصولات نانوایی انواع هیدروکلوئیدها هستند و در این زمینه مطالعات زیادی انجام شده است (Liu *et al*, 2018؛ Ziobro *et al*, 2016 b؛ Maria *et al*., 2016؛ Crocket *et al*., 2011؛ Onyango *et al*., 2010). اما امروزه برخلاف گذشته انواع مختلف محصولات نانوایی بدون گلوتن در بازار داخلی و خارجی عرضه می‌شود اما تنها موردی که بین این دسته از محصولات رقابت ایجاد می کند کیفیت و تنوع محصول به لحاظ ظاهر و طعم است. مصرف لبنیات به‌ویژه لبنیات کم لاکتوز برای مبتلایان به سلیاک بلامانع بود و تا

۱- گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: pourhajif@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.86707

حدودی می‌تواند تأمین‌کننده مواد مغذی مورد نیاز آن‌ها باشد. در این زمینه Stathopoulus و Okennedy (۲۰۰۸) براساس نتایج خود گزارش کردند با افزایش غلظت کلسیم در کازئین شیر و افزودن آن به آردهای بدون گلوتن می‌تواند تا حدودی جایگزین پیوندهای کووالانسی دی سولفیدی در خمیر آرد گندم باشد به‌طوری که شبه شبکه تشکیل شده مستحکم و قابلیت جذب آب بالایی داشته باشد. Moor و همکاران (۲۰۰۴) فرمولاسیون حاوی ۳۷/۵ درصد پودر شیر پس چرخ جهت تولید نان بدون گلوتن ارائه نمودند. در این تحقیق نمونه حاوی پودر شیر پس چرخ دارای شبه ساختاری مشابه شبکه گلوتنی در مغز نان گندم بود. نتایج Gallagher و همکاران (۲۰۰۳) در زمینه محصولات بدون گلوتن نشان داد، پودرهای لبنی با پروتئین بالا و لاکتوز کم باعث افزایش رطوبت محصول نهایی و بهبود ظاهر عمومی و حجم نمونه‌های تولیدی شدند. پودرهای لبنی در سفیدتر شدن بافت درونی و تیرگی پوسته نان بدون گلوتن مؤثر بودند. همچنین با توجه به کارایی امواج فراصوت در محصولات نانوایی به‌نظر می‌رسد بتوان از این فناوری نوین جهت ارتقاء کیفیت و بازارپسندی محصولات بدون گلوتن به‌ویژه به لحاظ بافت، قابلیت جویدن و احساس دهانی بهره برد. Tan و همکاران (۲۰۱۱)، Sujka و Jamroz (۲۰۱۳) و Sit و همکاران (۲۰۱۳) نتایجی نظیر تسریع اکسیداسیون، افزایش هوادهی، حجم، تخلخل، رطوبت، کاهش سفتی و بهبود رنگ فراورده‌های نانوایی را با کاربرد امواج فراصوت گزارش کردند.

لازم به ذکر است علت انتخاب آرد سیب‌زمینی در این تحقیق به دلیل ایجاد تنوع و طعم متفاوت در کیک و ارائه یک محصول بدون گلوتن جدید و آرد کینوآ به دلیل ارزش غذایی بالا به‌خصوص به لحاظ تعادل آمینواسیدها بود. همچنین لازم به ذکر است غلات و شبه‌غلات جوانه‌زده حاوی آنزیم آلفاآمیلاز هستند که اثرات مثبتی بر رنگ و بافت محصول نهایی بخصوص در محصولات بدون گلوتن دارد. همچنین غلات و شبه‌غلات جوانه‌زده به لحاظ محتوای پروتئین، قندهای محلول، چربی (اسیدهای چربی نظیر اسید لینولئیک و اسید لینولنیک)، املاح (فسفر و کلسیم) و ویتامین‌ها نظیر کاروتن، ویتامین E، B_1، B_6، فولیک اسید و پنتوتنیک اسید غنی‌تر هستند که به بهبود ارزش تغذیه‌ای محصولات بدون گلوتن کمک می‌کنند (Lyimo *et al.*, 2004؛ Sharma & Gujral, 2010 ؛ Panfil *et al.*, 2014). بنابراین با توجه به نیاز بیماران سیلیاکی به محصولات نانوایی بدون گلوتن با ویژگی‌های بافتی و ظاهری مطلوب و در عین حال مغذی، هدف از انجام این پژوهش بهبود ظاهر، طعم و بافت کیک بدون گلوتن بر پایه مخلوط آرد کینوآ جوانه زده، آرد برنج و سیب‌زمینی با استفاده پودر پنیر در سطوح صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد و امواج فراصوت با شدت صفر، ۳۰ و ۷۰ درصد به مدت ۵ دقیقه بود.

مواد و روش‌ها

آرد سیب‌زمینی با ۱۰/۱۷ درصد رطوبت، ۱/۰۴ درصد خاکستر، ۱۰/۴۹ پروتئین، ۷۸/۳ درصد نشاسته و آرد برنج با ۱۰/۵ درصد رطوبت، ۰/۴۴ درصد خاکستر، ۷/۳۶ درصد پروتئین، ۸۱/۶ درصد نشاسته و صفر درصد گلوتن از یک عطاری معتبر در سطح شهر تهیه گردید. شکر، روغن مایع، تخم‌مرغ و بیکینگ پودر از شرکت‌های معتبر خریداری شدند. شربت اینورت براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳ تهیه شد. صمغ زانتان و گوار از شرکت ریحان گام (گرگان)، وانیل از شرکت رودیا (فرانسه)، دانه کینوآ (با ۶۶/۹ درصد نشاسته، ۶/۱ درصد چربی، ۱۶/۷ درصد پروتئین و ۱۰/۱ درصد رطوبت) از شرکت کیان فود (تهران-ایران) و پودر پنیر از یک کارخانه معتبر تولید اسنک و پفک خریداری شدند.

تهیه آرد کینوآ جوانه‌زده

۵۰۰ گرم دانه کینوآی در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خیسانده شد. پس از رسیدن رطوبت دانه ها به ۴۲ درصد (مناسب جوانه‌زنی) آب اضافی حذف گردید و دانه‌ها در اتاقک جوانه‌زنی (با ابعاد ۹×۲۲×۳۸) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ روز قرار گرفتند. دانه‌های جوانه‌زده جهت رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد در خشک‌کن هوای گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا قرار گرفتند و پس از خشک شدن به پودر تبدیل شده و از الک با مش ۳۰ عبور کردند (Mamedi *et al.*, 2017).

تهیه خمیر و کیک

خمیر کیک حاوی ۷۰ گرم آرد برنج، ۱۵ گرم آرد سیب‌زمینی و ۱۵ گرم آرد کینوآ جوانه‌زده (۱۰۰ گرم آرد)، ۵۲ گرم شکر، ۵۰ گرم آب، ۳۶ گرم روغن، ۳۶ گرم تخم‌مرغ، ۱۲ گرم شربت اینورت، ۲ گرم بیکینگ پودر، ۰/۲ گرم وانیل، ۱/۵ گرم گوار و ۰/۳ گرم زانتان و حاوی سطوح متفاوت پودر پنیر (صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد براساس وزن آرد) بود. در ابتدا روغن، شکر و تخم‌مرغ با استفاده از یک همزن برقی (بونیتو، HM 200K) با دور کم به مدت ۵ دقیقه مخلوط شدند تا یک کرم حاوی کف ایجاد شد. سپس طی ۲ مرحله آب+ شربت اینورت (مرحله اول) و بیکینگ پودر+ آرد+ پودر پنیر (مرحله دوم) به مخلوط قبلی اضافه شد. در نهایت خمیر آماده شده حاوی تمام ترکیبات موجود در فرمولاسیون کیک روغنی بر پایه مخلوطی از آردهای بدون گلوتن تحت تأثیر امواج فراصوت (با شدت صفر، ۳۰ و ۷۰ درصد) به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت (جدول ۱). دستگاه تولید کننده امواج فراصوت (UP200 H، Hielscher، آلمان) بود و زمان و شدت اعمال امواج فراصوت مطابق با پژوهش Jalali و همکاران (۲۰۲۰) در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی خمیر، ۱۰۰ گرم از آن توسط یک قیف پارچه‌ای به قالب

کیک کاغذی‌نسوز با قطر و ارتفاع ۴ سانتی‌متر انتقال یافت. در انتها پخت کیک در فر طبقه‌ای (ZuccihelliForni، ایتالیا) پخت شد (دمای پخت ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان آن ۱۵ دقیقه بود). سرد شدن کیک در محیط و دمای آزمایشگاه (به مدت ۲ ساعت) انجام شد. نمونه‌های تهیه شده پس از سرد شدن آماده ارزیابی و انجام آزمایشات شدند. تنها چند نمونه در زیب کیپ (کیسه‌های پلی‌اتیلنی) جهت اندازه‌گیری رطوبت و سفتی بافت پس از یک هفته قرار گرفت و در دمای محیط نگهداری شد (صحرائیان و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱-تیمارهای مختلف تحت تأثیر افزودن سطوح متفاوت پودر پنیر و اعمال شدت‌های متفاوت امواج فراصوت.

تیمارها	پودر پنیر (٪)	شدت امواج فراصوت (٪)
۱	–	–
۲	۳	۳۰
۳	۶	۳۰
٤	۹	۳۰
۵	۳	۷۰
٦	۶	۷۰
۷	۹	۷۰

رطوبت

این آزمون ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت براساس روش AACC2000 به شماره ۱۶-۴۴ و با آون‌گذاری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد.

حجم مخصوص

جهت ارزیابی حجم نمونه‌ها از جایگزینی حجم (یک قطعه ۲×۲ سانتی‌متری از مرکز هندسی کیک) با دانه کلزا براساس روش AACC2000 به شماره ۱۰-۷۲ استفاده شد. سپس حجم به‌دست آمده براساس سانتی‌متر مکعب بر وزن قطعه کیک اولیه براساس گرم تقسیم شد. عدد به‌دست آمده به‌عنوان حجم مخصوص گزارش گردید.

بافت

این آزمون ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت ارزیابی با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مدل QTS انجام شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب با انتهای استوانه‌ای (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه از مرکز کیک، به‌عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید. نقطه شروع و نقطه هدف به‌ترتیب ۰/۰۵ نیوتن و ۲۵ میلی‌متر بود (Ronda *et al*., 2011).

رنگ پوسته و بافت درونی کیک

رنگ پوسته و بافت درونی کیک ۲ ساعت پس از سرد شدن، از طریق تعیین سه شاخص *L، *a و *b صورت پذیرفت. بدین منظور از تکنیک پردازش و نرم‌افزار Image J استفاده شد. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از پوسته و بافت درونی کیک تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویر برداری شد، سپس تصاویر در اختیار نرم‌افزار قرار گرفت و شاخص‌های ذکر شده محاسبه شد (Sun, 2008).

ویژگی‌های حسی کیک

بدین منظور ۵ داور با استفاده از آزمون مثلثی انتخاب شد و سپس خصوصیات حسی از نظر فرم و شکل، ویژگی‌های سطح بالایی و پائینی، تخلخل، سفتی بافت، قابلیت جویدن و بو و مزه ارزیابی شدند. ویژگی‌های بررسی شده به‌ترتیب دارای ضریب رتبه‌ای ۴، ۲، ۱، ۲، ۲، ۳ و ۳ بودند. ارزیابی شدند. ضریب ارزیابی صفات براساس روش هدونیک پنج نقطه‌ای (۱: بسیار بد، ۲: بد، ۳: متوسط، ۴: خوب و ۵: خیلی خوب) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش‌کلی (که عبارت است مجموع امتیاز تمام ویژگی‌ها پس از اعمال ضرایب تقسیم بر مجموع ضرایب) محاسبه شد.

تخلخل و ریزساختار کیک

پس از ارزیابی تمام ویژگی های ذکر شده و معرفی بهترین نمونه تخلخل و زیر ساختار آن در مقایسه با نمونه شاهد قرار گرفت و نمونه برتر به لحاظ ماکرو و میکروساختار با نمونه شاهد (فاقد پودر پنیر و بدون اعمال امواج فراصوت) مقایسه گردید.

به‌منظور ارزیابی میزان تخلخل کیک، از تکنیک پردازش و نرم‌افزار Image J استفاده شد. برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از بافت درونی کیک تهیه گردید و به‌وسیله اسکنر با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد و عکس تهیه شده در اختیار نرم افزار قرار گرفت. پس از تهیه

تصاویر سطح خاکستری[1] و در ادامه تصاویر دودویی[2]، با فعال کردن قسمت آنالیز نرم‌افزار، درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Barcenas & Rosell, 2006*;* Sabanis *et al.*, 2008). همچنین جهت تهیه تصویر میکروسکوپ الکترونی و ارزیابی ریز ساختار کیک، نمونه‌های تولیدی (بهترین نمونه و نمونه شاهد) به ابعاد ۱۰×۱۰ میلی‌متر به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس لایه نازکی از نمونه بر روی پایه‌های فلزی از جنس آلومینیوم قرار گرفتند و توسط چسب مایع ثابت شدند. نمونه‌ها توسط دستگاه لایه نشانی طلا، طلاپوش (۲ دقیقه- ۲میلی بار) شدند. در ادامه تصویربرداری توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) با حداکثر ولتاژ ۱۰ کیلووات و بزرگنمایی × ۱۰۰ انجام شد (Furlan *et al.*, 2015).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

نتایج به‌دست آمده در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Mini-Tab17 تجزیه و تحلیل شد. بدین ترتیب میانگین سه تکرار برای تمام آزمون‌ها و ۱۵ تکرار برای ویژگی‌های حسی در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی (P<0.05) انجام و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

رطوبت

شکل جدول ۲ نشان‌دهنده رطوبت کیک‌های بدون گلوتن در بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت است. همانطور که نتایج نشان داد، با افزایش پودر پنیر در فرمولاسیون و افزایش شدت امواج فراصوت بر میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری (P<0.05) افزوده شد. نمونه حاوی ۶ و ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، از بیشترین میزان رطوبت در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. Belitz و Grosch (۱۹۸۷) به این نکته اشاره نمودند که ترکیبات با محتوای پروتئینی بالا نظیر پودرهای لبنی باعث افزایش ظرفیت نگهداری و حفظ آب در حین فرآیند پخت و پس از آن می‌شوند که به موجب آن رطوبت محصول نهایی نسبت به نمونه فاقد این ترکیبات افزایش می‌یابد.

جدول ۲- رطوبت کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

تیمارها	رطوبت (درصد)	
	۲ ساعت پس از پخت	یک هفته پس از پخت
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۱۷/۹±۰/۷[d]	۱۳/۹±۱/۲[d]
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۱۹/۵±۰/۳[c]	۱۶/۲±۰/۴[c]
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۲۱/۲±۱/۱[bc]	۱۸/۲±۰/۲[b]
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۳۰ درصد	۲۲/۴±۰/۵[b]	۲۱/۱±۰/۹[a]
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۲۱/۱±۰/۹[bc]	۱۸/۱±۰/۲[b]
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۲۳/۱±۰/۶[b]	۱۸/۹±۱/۳[b]
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد	۲۵/۱±۱/۲[a]	۲۱/۱±۱/۱[a]

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح P<0.05 تفاوت معنی‌داری ندارند.

در این زمینه Stathopoulus و Okennedy (۲۰۰۸) با افزودن کازئین شیر به آرد بدون گلوتن، محصولی تولید نمودند که از شبکه مستحکم و جذب آب بالایی برخوردار بود که با تحقق این امر پیش‌بینی نمودند محصولات نانوایی تولید شده از آرد بدون گلوتن حاوی کازئین شیر نسبت به نمونه‌های فاقد این افزودنی (کازئین شیر) دارای میزان رطوبت بیشتری (به دلیل افزایش جذب آب خمیر) خواهند بود. Jambrak و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند امواج فراصوت در اثر اعمال پدیده حفره‌سازی با ایجاد فشار و تنش موضعی باعث آسیب رساندن به گرانول‌ها، تخریب پیوندهای کووالانسی و در نتیجه شکستن رشته‌های پلیمری مولکول‌های نشاسته می‌شود و به موجب آن اتصالات هیدروژنی بین مولکول‌های آب و گروه‌های هیدروکسیل آزاد آمیلوز و آمیلوپکتین، انحلال‌پذیری آرد، جذب آب خمیر و رطوبت محصول نهایی افزایش می‌یابد

حجم مخصوص

جدول ۳ نشان‌دهنده حجم مخصوص کیک‌های بدون گلوتن است. همانطور که نتایج نشان داد، نمونه حاوی ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود و نمونه حاوی

1 Gray level images

2 Binary Images

۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، از بیشترین حجم مخصوص در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. صحرائیان (۱۳۹۱) براساس نتایج مطالعه خود گزارش کردند پودرهای لبنی با پروتئین بالا و لاکتوز کم (نظیر پودر پنیر) از طریق استحکام بخشیدن شبه شبکه تشکیل شده در بافت نان بدون گلوتن و از طرفی حفظ و نگهداری بیشتر سلول‌های گازی در حین فرآیند پخت (ممانعت از پاره شدن حبابچه‌های گازی منبسط شده در اثر اعمال دمای پخت) توانایی افزایش حجم محصول نهایی را داشتند. اما توجه به این نکته ضروری است که چنانچه شبه شبکه تشکیل شده جهت حفظ و نگهداری سلول‌های گازی بیش از اندازه مستحکم گردد، سلول‌های هوای ورودی به خمیر کیک (طی فرایند بهم زدن) در برابر انبساط (در حین فرآیند پخت) مقاومت خواهند کرد و اثر منفی بر افزایش حجم خواهند گذاشت. به احتمال زیاد علت موفقیت نمونه حاوی ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود در مقایسه با زمانی که شدت امواج فراصوت ۳۰ درصد بود، همین امر باشد که حضور ۹ درصد پودر پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن استحکام زیادی به شبه شبکه گلوتنی بخشیده که با افزایش شدت امواج فراصوت اثر منفی ناشی از استحکام بیش از حد شبه شبکه گلوتنی برطرف شده است. Kamali Roosta و همکاران (۲۰۱۶) اثر امواج فراصوت را بر خمیر نان حاوی سه نوع آرد قوی، متوسط و ضعیف بررسی کردند. نتایج این محققان نشان داد اعمال امواج فراصوت بر خمیر نان حاوی آرد متوسط سبب بهبود خواص الاستیک خمیر شد و قطر منافذ حباب‌های هوای موجود در خمیر بر اثر اعمال اموج فراصوت افزایش یافت که همین امر موجبات افزایش تخلخل و حجم مخصوص را فراهم نمود. این در حالی بود که با استفاده از آرد ضعیف کاهش حجم مشاهده شد. جلالی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای اصلاح بافت نان قالبی بدون گلوتن با استفاده از آرد ذرت پیش ژلاتینه و امواج فراصوت پرداختند. این محققان حضور نشاسته پیش ژلاتینه و امواج فراصوت را عاملی بر افزایش حجم مخصوص دانستند. Lagrain و همکاران (۲۰۱۳) و Mehta و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند امواج فراصوت با ایجاد هسته حباب‌های گاز در هوادهی بهتر خمیر مؤثر است و از آن می‌توان به‌عنوان یک روش غیرمخرب جهت مخلوط کردن خمیر و بهبود بافت محصولات نانوایی استفاده نمود.

جدول ۳- حجم مخصوص و سفتی بافت کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

تیمارها	حجم مخصوص (سانتی‌متر مکعب بر گرم)	سفتی بافت (نیوتن)	
		۲ ساعت پس از پخت	یک هفته پس از پخت
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۲/۷±۰/۵[c]	۷/۴±۱/۲[a]	۱۲/۷±۱/۵[a]
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۳/۴±۰/۵[b]	۳/۲±۰/۸[c]	۷/۹±۱/۱[b]
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۴/۴±۰/۲[a]	۳/۴±۰/۲[c]	۵/۳±۰/۳[c]
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۳۰ درصد	۲/۶±۰/۴[c]	۶/۳±۱/۱[b]	۵/۳±۱/۱[c]
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۲/۷±۰/۵[c]	۵/۵±۰/۷[b]	۸/۱±۰/۵[b]
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۳/۴±۰/۲[b]	۵/۹±۱/۳[b]	۷/۶±۰/۲[b]
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد	۴/۲±۰/۴[a]	۳/۴±۱/۲[c]	۵/۱±۱/۳[c]

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

بافت

جدول ۳ نشان‌دهنده سفتی بافت کیک‌های بدون گلوتن در بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت است. همانطور که نتایج نشان داد، نمونه حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود و نمونه حاوی ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، از کمترین سفتی بافت در بازه زمانی ۲ ساعت پس از پخت در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار بودند. همچنین نتایج نشان داد، نمونه حاوی ۶ و ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود و نمونه حاوی ۹ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ و ۷۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود، کمترین سفتی بافت را یک هفته پس از پخت داشتند.

به‌طور کلی در محصولات نانوایی بدون گلوتن عدم حضور پروتئین گلوتن در آرد مورد استفاده سبب تسهیل مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته می‌شود و در نتیجه آن سفتی بافت افزایش می‌یابد اما با کاربرد انواع مختلفی از افزودنی‌های مجاز یا به‌کارگیری فرایندهای جدید جهت تولید محصول می‌توان تا حدودی از این فرآیند (سفت شدن بافت) جلوگیری نمود. در اینجا به‌نظر می‌رسد پودر پنیر به‌عنوان یک افزودنی توانسته تا حدودی در افزایش نرمی بافت کیک بدون گلوتن مؤثر باشد که در این میان سطح مصرفی ۶ درصد پودر پنیر بهترین عملکرد را در

بهبود بافت داشته است. از طرفی افزایش میزان سفتی بافت محصولات نانوایی طی مدت زمان نگهداری و بیاتی آن خود فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش میزان رطوبت و یا توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است (Ahlborn *et al*., 2005؛ Morreale *et al*., 2018؛ Okennedy & Stathopoulus, 2008) و هر عاملی که بتواند بر حفظ رطوبت طی فرایند پخت و به‌ویژه پس از آن مؤثر باشد، بر کند شدن روند بیاتی تأثیر خواهد داشت. Peressini و همکاران (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی را در زمینه کاربرد امواج فراصوت در تولید محصولات نانوایی گزارش کردند. این پژوهشگران از دو نوع آرد با قدرت تخمیر متفاوت و موادی مانند اینولین، روغن، امولسیفایر جهت تهیه خمیر استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن کاربرد امواج فراصوت با فرکانس ۳ –۰/۳ مگاهرتز در کنار سایر مواد سبب افزایش نرمی بافت خمیر و محصول تولیدی از آن شد. Chen و همکاران (۲۰۰۹) و Dehghan Nasiri و همکاران (۲۰۱۱) به‌ترتیب با استفاده از تکنیک امواج فراصوت بر پوشش خمیری (حاوی آرد بر پایه غلات و حبوبات) ناگت ماهی و میگو توانستند سفتی سطح و مغز بافت را کاهش دهند. Lagrain و همکاران (۲۰۱۳) براساس مطالعات خود گزارش کردند امواج فراصوت با ایجاد هسته حباب‌های گاز در هوادهی بهتر خمیر و کاهش سفتی بافت آن مؤثر بود.

رنگ پوسته و بافت درونی کیک

جدول ۴ نشان‌دهنده رنگ پوسته و بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن است. همانطور که نتایج نشان داد، افزایش پودر پنیر تا ۶ درصد سبب افزایش مؤلفه رنگی L^* پوسته کیک‌های بدون گلوتن تولیدی بود. این در حالی بود که با افزایش میزان پودر پنیر در فرمولاسیون بر میزان مؤلفه رنگی a^* پوسته نمونه‌های تولیدی به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد افزوده شد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که افزایش درصد شدت امواج فراصوت منجر به افزایش مؤلفه رنگی L^* و کاهش مؤلفه رنگی b^* بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن شد.

جدول ٤- مؤلفه‌های رنگی پوسته و بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

تیمارها	مؤلفه‌های رنگی پوسته		
	L*	a*	b*^{ns}
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۴۴/۹±۲/۳^{c}	۲/۶±۰/۲^{c}	۲۳/۳±۱/۷
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۴۹/۳±۱/۷^{b}	۵/۱±۰/۵^{b}	۲۲/۵±۱/۱
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۵۳/۵±۰/۹^{a}	۵/۷±۰/۳^{b}	۲۲/۱±۱/۵
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۳۰ درصد	۴۳/۷±۱/۱^{c}	۷/۷±۰/۹^{a}	۲۳/۵±۱/۵
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۴۸/۳±۱/۱^{b}	۴/۷±۰/۱^{b}	۲۲/۷±۲/۱
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۵۴/۱±۱/۵^{a}	۵/۵±۰/۹^{b}	۲۳/۲±۱/۶
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد	۴۵/۷±۱/۹^{b}	۸/۴±۱/۲^{a}	۲۳/۷±۲/۹
تیمارها	**مؤلفه‌های رنگی بافت درونی**		
	L*	a*^{ns}	b*
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۶۰/۳±۳/۳^{c}	۰/۷±۰/۱	۱۷/۳±۱/۳^{a}
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۷۰/۳±۱/۷^{b}	۱/۱±۰/۷	۱۲/۵±۱/۱^{b}
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۶۸/۹±۱/۱^{b}	۰/۶±۰/۲	۱۱/۹±۱/۷^{b}
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۳۰ درصد	۶۹/۱±۲/۱^{b}	۰/۸±۰/۴	۱۲/۴±۰/۸^{b}
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۷۷/۹±۲/۵^{a}	۰/۷±۰/۳	۷/۹±۱/۵^{c}
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۷۵/۵±۱/۹^{a}	۰/۵±۰/۱	۴/۲±۰/۶^{d}
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد	۷۷/۱±۲/۷^{a}	۱/۲±۰/۴	۸/۱±۱/۱^{c}

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

ns* : نمونه‌های تولیدی از نظر آماری در سطح $P<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

در اینجا به نظر می‌رسد که افزایش مؤلفه رنگی L^* پوسته در حضور حداکثر ۶ درصد پودر پنیر نشأت گرفته از پوسته‌ای صاف، هموار و یکنواخت باشد که در نتیجه انتقال و مهاجرت آهسته‌تر رطوبت از مغز به پوسته کیک است (محتوای بالاتر رطوبت در نمونه‌های حاوی پودر پنیر گواهی بر مهاجرت آهسته تر رطوبت از مغز به پوسته است که البته فشرگی بافت نمونه‌های حاوی ۹ درصد پودر پنیر را نباید نادیده گرفت).

در این راستا Purlis و Salvadori (۲۰۰۹) بیان نمودند که تغییرات سطح نان مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش میزان مؤلفه L^* دارند. از طرفی این انتظار وجود داشت که مؤلفه رنگی a^* پوسته کیک‌های بدون گلوتن با افزودن پودر پنیر به فرمولاسیون اولیه افزایش یابد زیرا این افزودنی (پودر پنیر) به دلیل دارا بودن لاکتوز و پروتئین در آن می‌تواند در واکنش‌های قهوه‌ای شدن شرکت نماید و از این رو سبب تیره‌تر شدن رنگ محصول شود. در همین راستا Gallagher و همکاران (۲۰۰۳) به نتایج مشابهی در اثر افزودن ۷ نوع پودر لبنی به فرمولاسیون نان بدون گلوتن دست یافتند. Tan و همکاران (۲۰۱۱)، Sujka و Jamroz (۲۰۱۳) و Sit و همکاران (۲۰۱۳) نتایجی نظیر تسریع اکسیداسیون، افزایش هوادهی و بهبود رنگ فراورده‌های نانوایی را با کاربرد امواج فراصوت گزارش کردند. بنابراین افزایش مؤلفه رنگی L^* و کاهش مؤلفه رنگی b^* بافت درونی نمونه‌های تولیدی تحت تأثیر امواج فراصوت می‌تواند به دلیل هوادهی و تسریع اکسیداسیون باشد که منجر به افزایش سفیدی و کاهش زردی بافت داخلی کیک شده است. کاهش زردی در نتیجه اکسیداسیون رنگدانه‌های آردهای به کار رفته در فرمولاسیون باشد. Ziobro و همکاران (۲۰۱۲)، Phattanakulkaewmorie و همکاران (۲۰۱۱) و Torres-Sánchez (۲۰۱۱) مشابهت داشت. همچنین Sujka و Jamroz (۲۰۱۳) طی تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که اعمال امواج فراصوت بر نشاسته سیب زمینی حل شده در آب تأثیر معنی‌داری بر شفافیت و مؤلفه رنگی L^* خمیر نشاسته سیب‌زمینی داشت و سبب افزایش آن شد. Dehghan Nasiri و همکاران (۲۰۱۱) نیز براساس نتایج مطالعه خود به این نکته اشاره نمودند تغییرات مؤلفه رنگی L^* تحت تأثیر صوت‌دهی کاملا محسوس و معنی‌دار بود. این محققان اذعان داشتند هموژنیزاسیون امواج فراصوت و در نتیجه ایجاد حفرات بیشتر و قابلیت سفیدکنندگی صوت عامل بهبود رنگ محصول نهایی بود.

ویژگی‌های حسی

جدول ۴ و شکل ۱ به‌ترتیب نشان‌دهنده ویژگی‌های حسی و امتیاز پذیرش کلی کیک‌های بدون گلوتن است. همانطور که نتایج نشان داد، با افزودن پودر پنیر در سطوح ۳ و ۶ درصد به فرمولاسیون کیک بدون گلوتن امتیاز نمونه‌های تولیدی به لحاظ فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت و قابلیت جویدن نسبت به شاهد (فاقد پودر پنیر) به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد افزایش یافت. این درحالی بودکه افزودن این پودر لبنی در تمام سطوح مصرفی سبب افزایش امتیاز بو و مزه به‌طور معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد شد..

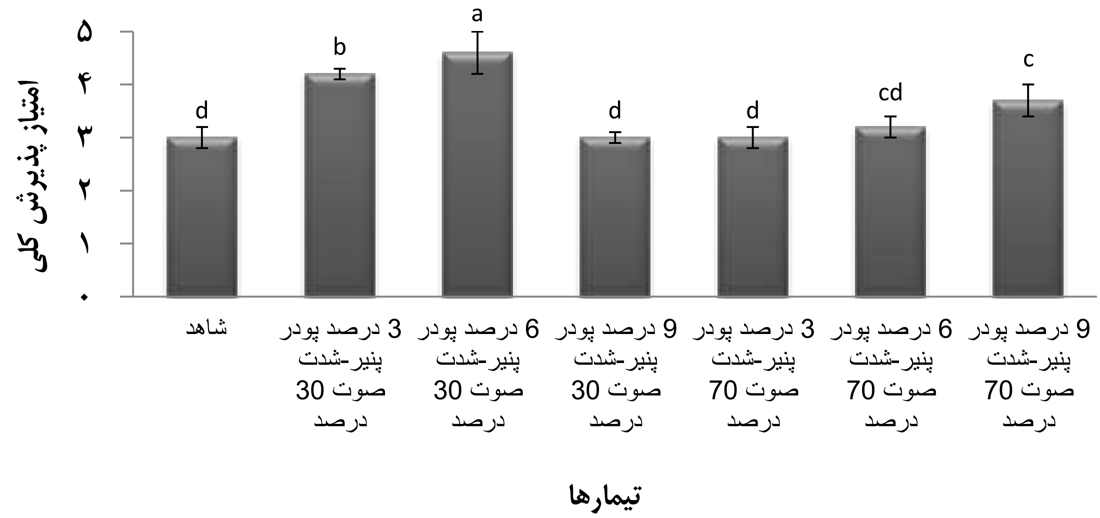
جدول ٤- مؤلفه‌های رنگی پوسته و بافت درونی کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

تیمارها	ویژگی‌های حسی			
	فرم و شکل	سطح بالایی	سطح پائینی^{ns}	پوکی و تخلخل
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۳/۳^{c}	۳/۰^{c}	۳/۸	۳/۰^{c}
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۴/۶^{a}	۴/۴^{a}	۴	۴/۰^{b}
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۴/۸^{a}	۴/۴^{a}	۴	۴/۸^{a}
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۳۰ درصد	۳/۸^{b}	۲/۲^{d}	۳/۶	۳/۰^{c}
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۳/۸^{b}	۳/۶^{b}	۴	۴/۲^{b}
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۳/۰^{c}	۳/۸^{b}	۳/۶	۳/۶^{bc}
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد	۳/۶^{b}	۲/۶c^{d}	۳/۶	۴/۶^{a}

تیمارها	سفتی و نرمی بافت	قابلیت جویدن	بو و مزه
شاهد (بدون پودر پنیر و اعمال امواج فراصوت)	۲/۷^{c}	۳/۰^{b}	۲/۳^{d}
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۴/۴^{a}	۴/۰^{a}	۴/۲^{b}
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۳۰ درصد	۴/۶^{a}	۴/۰^{a}	۴/۶^{a}
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۳۰ درصد	۳/۰^{c}	۲/۷^{bc}	۳/۱^{c}
۳ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۲/۱^{d}	۳/۰^{b}	۳/۰^{c}
٦ درصد پودر پنیر- شدت صوت ۷۰ درصد	۲/۷^{c}	۲/۳^{c}	۳/۰^{c}
۹ درصد پودر پنیر-شدت صوت ۷۰ درصد	۳/۷^{b}	۳/۸^{a}	۴/۰^{b}

حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

ns* : نمونه‌های تولیدی از نظر آماری در سطح $P<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱- امتیاز پذیرش کلی کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.
حروف مشابه از نظر آماری در سطح P<0.05 تفاوت معنی‌داری ندارند.

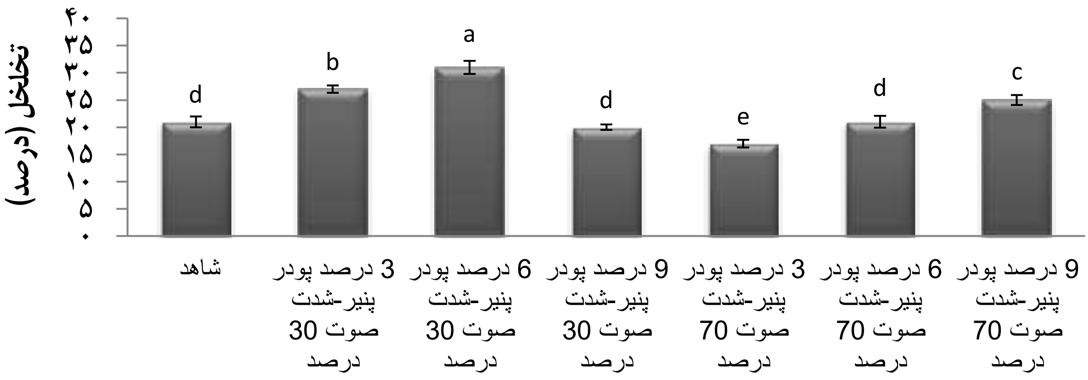
در مورد بهبود عطر و مزه دو مسئله مطرح است یکی آنکه پودر پنیر با ذائقه مصرف کننده سازگار است و از انواع پنیر در فرمولاسیون دسرها، شیرینی‌ها، انواع کیک‌ها و نان ها به‌صورت پوشش سطح، مغزی و غیره استفاده می شود. یکی دیگر آنکه برای نمونه‌های که بافت بهتری دارند رهایش عطر و مزه بیشتر اتفاق می‌افتد و از طرفی قابلیت جویدن و احساس دهانی مطلوب‌تر می‌گردد. در این زمینه Koliandris و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند درک بو و مزه و رهایش مواد مولد آن‌ها بستگی به نوع بافت نمونه دارد و در بافت‌هایی که پیوستگی بیشتر است و بافت خوشایند مصرف کننده یا ارزیابان چشایی است، درک بو و مزه بیشتر است. Boland و همکاران (۲۰۰۴) این امر را به طریق دیگری توجیه کردند و اعتقاد داشتند برهمکنش‌های بین مواد مولد بو و مزه در محصولات با بافت و ساختار مناسب بهتر اتفاق افتاده است که این امر منجر به افزایش احساس دهانی خوب و رهایش هرچه بیشتر مواد طعم‌زا می‌شود.

علاوه براین نتایج ارزیابی خصوصیات پائینی حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار (P<0.05) بود. همچنین نتایج نشان داد، امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد عملکرد بهتری بر امتیاز ویژگی‌های حسی کیک داشت. تحت تأثیردر نهایت نتایج نشان داد نمونه حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود از بیشترین امتیاز ویژگی‌های حسی و پذیرش کلی برخوردار بودند

تخلخل و ریز ساختار کیک

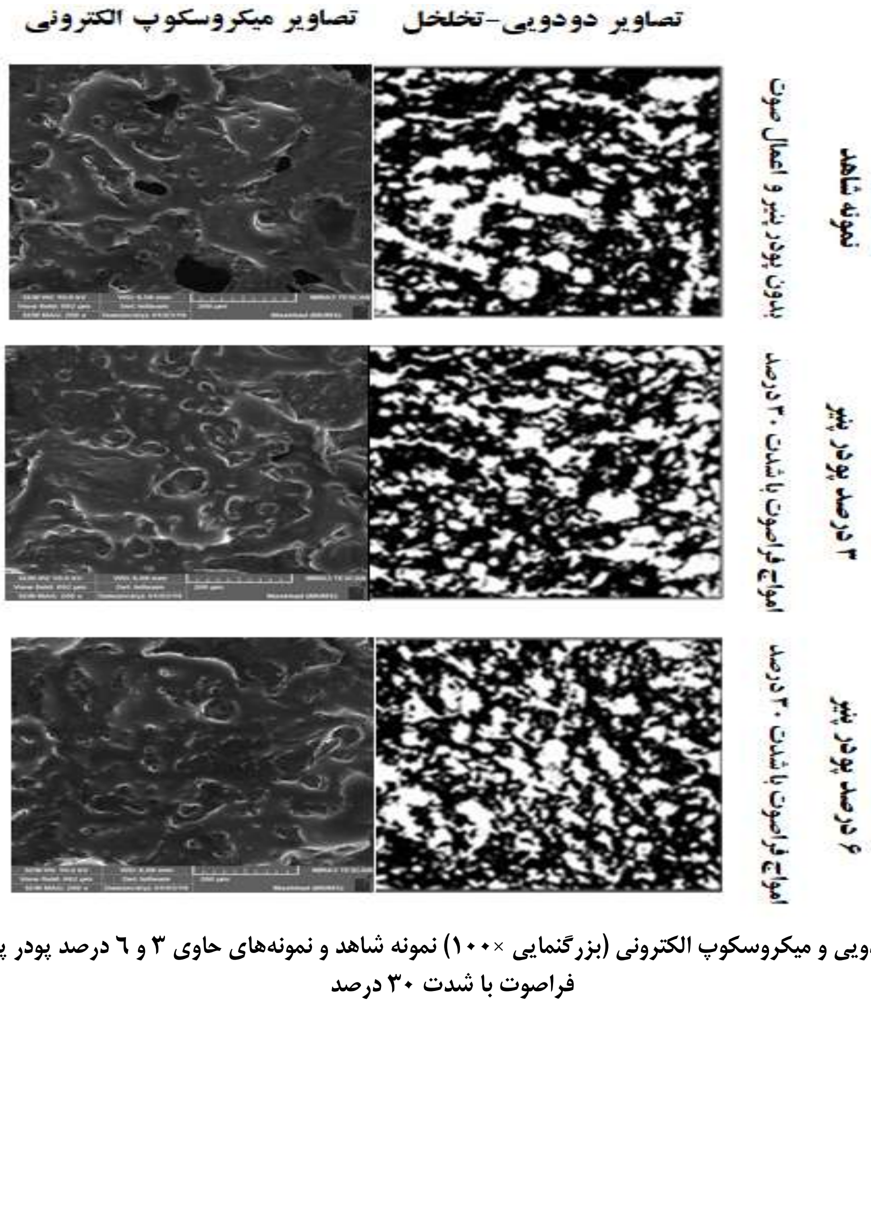
همانطور که نتایج در بخش‌های قبلی نشان داد نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود از بهترین ویژگی‌های بافتی و حسی برخوردار بودند. شکل ۲ درصد تخلخل کیک‌های تولیدی را نشان می‌دهد. همچنین در این بخش به ارزیابی تصاویر به‌دست آمده از نرم‌افزار Image J و میکروسکوپ الکترونی از بهترین نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد پرداخته می‌شود (شکل ۳). یافته‌های این بخش نیز بیانگر برتری درصد تخلخل نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود در مقایسه با نمونه شاهد بودند. اما نکته قابل توجه این بود که نمونه حاوی ۶ درصد پودر پنیر از درصد تخلخل بیشتری نسبت به نمونه حاوی ۳ درصد برخوردار بود. تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نیز انسجام و پیوستگی ریز ساختار نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود را در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد. میزان تخلخل در ارتباط مستقیم با تعداد سلول‌های گازی و مهم‌تر از آن توزیع یکنواخت آن‌ها در بافت محصول می‌باشد (صحرائیان و همکاران، ۱۳۹۷). Lieke و همکاران (۲۰۱۱) از پروتئین‌های آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن استفاده نمودند. براساس نتایج این محققان مشخص گردید پروتئین‌های آب پنیر با بهبود شبه شبکه موجود در نان بدون گلوتن سبب بهبود حجم مخصوص و تخلخل محصول نهایی شدند. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند حضور پروتئین‌های آب پنیر در فرمولاسیون نان بدون گلوتن سبب ایجاد سلول‌های گازی مشابه با آنچه در نان گندم وجود داشت شد و در نمونه‌های نان بدون گلوتن حاوی پروتئین‌های آب پنیر پخش و توزیع حابچه‌های گازی یکنواخت‌تر بود. همچنین Tan و همکاران (۲۰۱۱) اثر امواج فراصوت را بر اختلاط بهتر خمیر کیک اسفنجی بررسی نمودند. نتایج این محققان نشان داد امواج فراصوت سبب کاهش چگالی خمیر از طریق بهبود شاخص رفتار جریان،

ویسکوزیته خمیر و فرایند هوادهی شد و حجم و تخلخل نمونه‌های تولیدی افزایش یافت. Knorr و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند پدیده کاویتاسیون که مکانیسم اصلی امواج فراصوت است در نزدیک لایه مرزی سبب اغتشاش و افزایش سطح تماس می‌شود و به موجب این امر ذرات ریز و یکنواخت در محصول ایجاد می‌شود و کیفیت محصول تولیدی بهبود می‌یابد.



شکل ۲- تخلخل کیک‌های بدون گلوتن تحت اثر سطوح متفاوت پودر پنیر و شدت امواج فراصوت.

حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P<0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۳-تصاویر دودویی و میکروسکوپ الکترونی (بزرگنمایی ×۱۰۰) نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی ۳ و ٦ درصد پودر پنیر تحت تأثیر امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد

Rajiv و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه رسیدند که در کیک حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم، ماتریکس گلوتن پیوسته است اما با افزایش جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن پیوستگی ماتریکس پروتئینی کاهش یافته و به میزان بیشتری از هم گسیخته می‌شود که جهت جبران این امر باید از انواع صمغ‌ها و ترکیبات پروتئینی و به عبارتی جایگزین و تقویت کننده گلوتن استفاده نمود. رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی ریزساختار کیک روغنی حاوی مخلوطی از آرد گندم و کینوآ پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که کیک های ترکیبی و حاوی آردهای ضعیف ساختار از هم گسیخته‌ای دارند و شبکه تشکیل شده در آن‌ها از استحکام و انسجام خوبی برخوردار نیست. از این رو توصیه نمودند زمان استفاده از آردهای ضعیف و بدون گلوتن در محصولات نانوایی نظیر کیک روغنی باید به کمک افزودنی‌های مجاز نظیر انواع هیدروکلوئیدها و ترکیبات پروتئینی شبکه تشکیل شده را تقویت نمود. رجبی محمدآباد و همکاران (۱۳۹۸) نیز به نتایج مشابهی با مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی (ریز ساختار) کیک روغنی زعفرانی بر پایه مخلوطی از آرد گندم و ارزن دست یافتند. این محققان به نیز به این نکته اشاره نمودند که درصد استفاده از صمغ و ترکیبات پروتئینی در فرمولاسیون کیک‌های حاوی آرد ضعیف باید با دقت انتخاب شود. زیرا نشاسته و سایر ترکیبات آبدوست در رقابت با یکدیگر قرار می‌گیرند و این امکان وجود دارد به دلیل عدم جذب آب توسط نشاسته، ژلاتینه شدن به‌خوبی اتفاق نیافتند و در نتیجه محصول تولیدی با سرعت بیشتری بیات شود که در این صورت در تصاویر میکروسکوپی (ریزساختار نمونه‌ها) گرانول‌های دست نخورده نشاسته مشاهده خواهد شد. در تحقیق حاضر به نظر می‌رسد انتخاب ترکیبات موجود در فرمولاسیون کیک روغنی بر پایه مخلوطی از آردهای کینوآ، سیب‌زمینی و برنج به‌خوبی صورت گرفته است و نشاسته موجود در فرمول کیک به‌خوبی جذب آب داشته است

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بهبود کیفیت کیک روغنی حاوی مخلوطی از آردهای بدون گلوتن (کینوآ جوانه‌زده، سیب‌زمینی و برنج) با افزودن پودر پنیر و کاربرد امواج فراصوت انجام شد. علت انتخاب آرد کینوآ جوانه‌زده افزایش ارزش تغذیه‌ای آن در مقایسه با آرد کینوآ و در نهایت غنی‌سازی کیک با منابع طبیعی بود. همچنین غلات و شبه غلات جوانه‌زده به دلیل داشتن آنزیم آلفاآمیلاز می‌توانند در بهبود رنگ و بافت محصولات بدون گلوتن (این دسته از محصولات دارای رنگ روشن و بافت خشک و نامرغوب هستند) مؤثر باشند. از طرفی با توجه به آنکه سیب زمینی با ذائقه ایرانی سازگار است و آرد آن قابلیت استفاده در صنعت نانوایی را دارد، جهت ایجاد تنوع و طعم متفاوت از آرد سیب‌زمینی نیز در کنار آرد برنج و کینوآ استفاده شد. یافته‌های این تحقیق به وضوح نشان داد، استفاده از پودر پنیر در بهبود رنگ، بافت و ویژگی‌های حسی به‌ویژه عطر و مزه مؤثر بود. همچنین امواج فراصوت بر تخلخل، حجم مخصوص، قابلیت جویدن و رنگ اثر مثبت داشت. با در نظر گرفتن تمام ویژگی‌های مورد بررسی در این پژوهش نمونه‌های حاوی ۳ و ۶ درصد پودر پنیر که امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد بر خمیر آن اعمال شده بود به عنوان برترین نمونه‌های این تحقیق معرفی می‌شود. لازم به ذکر است تصاویر میکروسکوپ الکترونی بیانگر ریزساختاری منسجم و یکنواخت‌تر برای دو نمونه برتر در مقایسه با نمونه شاهد بود. بنابراین می‌توان گفت با افزودن پودر پنیر به فرمولاسیون کیک بدون گلوتن و استفاده از امواج فراصوت با شدت ۳۰ درصد می‌توان محصولی جذاب‌تر با طعم مطلوب ایجاد نمود که به احتمال زیاد قابلیت رقابت با محصولات مشابه موجود در بازار مصرف را دارد. در صورت در دسترس نبودن دستگاه اولتراسوند و عدم بهره‌مندی از امواج فراصوت پیشنهاد می‌شود بر روی هوادهی خمیر کیک مطالعاتی صورت گیرد و در کنار آن بهبوددهنده‌هایی حاوی امولیسفایرها و صمغ های بومی و طبیعی طراحی گردد که در حفظ حباب‌های هوای ورودی به خمیر کیک طی فرایند بهم‌زدن و حباب‌های تولید شده توسط بیکینگ پودر کمک‌کننده باشند.

منابع

رحیمی، ش.، شیخ الاسلامی، ز. و سیدین اردبیلی، س. م. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر صمغ بومی بارهنگ کبیر () بر کیفیت و خواص حسی کیک روغنی کم چرب ترکیبی (گندم-کینوآ). علوم و صنایع غذایی، شماره ۸۸، دوره ۱۶، صفحات ۱۳۴-۱۲۳.

رجبی محمدآباد، م.، شیخ الاسلامی، ز. و الماسی، م. ۱۳۹۸. بررسی سطوح متفاوت صمغ فارسی (زدو) بر بافت، ریزساختار و ویژگی‌های حسی کیک روغنی زعفرانی. علوم و صنایع غذایی، شماره ۹۷، دوره ۱۶، صفحات ۱۴۸-۱۳۷.

صحرائیان، ب.، کریمی، م. و شیخ الاسلامی، ز. ۱۳۹۷. بررسی عملکرد صمغ دانه شاهی در مقایسه با گزانتان بر خصوصیات بافتی و تصویری کیک روغنی بدون گلوتن (برنج-ذرت). مجله تحقیقات مهندسی صنایع غذایی، دوره ۱۷، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۵، صفحات ۱۴-۱.

صحرائیان، ب. ۱۳۹۱. بررسی امکان تولید نان بدون گلوتن با استفاده از سورگوم، پودر پنیر، صمغ های گوار، کربوکسی متیل سلولز و بالنگوشیرازی. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.

AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B, Hess, W. M. & Huber, C, S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82: 328-335.

Barcenas, M. E. & Rosell, M. 2003. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International*, 36:863-869.

Belitz, H. D. & Grosch, W. 1987. Food Chemistry. Springer Verlag: New York.

Boland, B., Buhr, K., Giannouli, P. & Van Ruth, S. M. 2004. Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavor compounds from model gel systems. *Food Chemistry*, 86(3): 401-411.

Chen, C. L., Li, P. Y., Hu, W. Y., Lan, M. H., Chen, M. J. & Chen, H. H. 2008. Using HPMC to improve crust crispness in microwave-reheated battered mackerel nuggets: water barrier effect of hpmc. *Food Hydrocolloids*, 22: 1337-1344.

Crockett, R., Ie, P. & Vodovotz, Y. 2011. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 129(1): 84-91.

Dehghan Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee Yazdi , F., & Haddad Khodaparast, M. H. 2011. Kenetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food and Bioproducts Processing*, 89(3): 241-247.

Furlan, L. T. R., Padilla, A.P., and Campderrs, M. E. 2015. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*, 170: 257-264.

Gallagher, E., Kunkel, A., Gormley, T.R., & Arendt, E. 2003. The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics and shelf life (intermediate and long term) of gluten – free bread stored in modified atmosphere. *Food Research Technology*, 218: 44-48.

Jalali, M., Sheikholeslami, Z., Elhamirad, A. H., Haddad Khdaparast, M. H. & Karimi, M. The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3): 993-1002.

Jambrak, A.R., Herceg, Z., Subaric, D., Babic, J., Brncic, M., Brncic, S.R., Bosiljkov, T., Cvek, D., Tripalo, B., & Gelo, J. 2010. Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79(1): 91-100.

Kamali Roosta, L., Seyedian Ardebili, M., Asadi, G.H., Ghiassi Tarzi, B. & Azizinejad, R. 2016. Evaluation and comparison of the qualitative properties of Lavash bread types during storage by different techniques. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(1): 57-70.

Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V. & Lee, D. U. 2004. Application and potential ultrasonic in food processing. *Trend in Food Science & Technology*, 15(5): 261-266.

Koliandris, A., Lee, A., Ferry, A., Hill, S. & Mitchell, J. 2008. Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavor release. *Food Hydrocolloids*, 22: 623-630.

Lagrain, B., Wilderjans, E., Glorieux, C. & Delcoura, J. A. 2013. Role of gluten and starch in crumb structure and texture of fresh and stored straight-dough bread. Conferences on Inside *Food Symposium*, Leuven, Belgium.

Lieke, E., Riemsdijk, V., Atze, J., Goot, V., Rob, J. & Remko, M. 2011. Preparation of gluten-free bread using a meso-structured whey protein particle system. *Journal of Cereal Science*, 53(3): 355-361.

Liu, X., Mu, T., Sun, H., Zhang, M., Chen, J. & Fauconnier, M. L. 2018. Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour. *Food chemistry*, 239: 1064-1074.

Lyimo, M., Berling, E. S. & Sibuga, K. P. 2004. Evaluation of the nutritional quality and acceptability of germinated Bambara nut (VIGNIA-SUBTERRANEA (L) VERLE) based products. *Ecology of Food and Nutrition*, 43: 181-91.

Mamedi, A., Tavakol Afshari, R. & Sepahvand, N. A. 2017. Quantifying seed germination response of quinia (*Chenopodium quinoa Willd*) under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Field Crop Sience*, 48(3): 615-623.

Maria, P., Massimiliano, R., Martina, C., Francesca, F. & Emma C. 2016. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT-Food Science and Technology*, 70: 88-95.

Mehta, K. L., Scanlon, M. G., Sapirstein, H. D. & Page, J.H. 2009. Ultrasonic investigation of the effect of vegetable shortening and mixing time on the mechanical properties of bread dough. *Journal of Food Science*, 74(9): 455-461.

Moor, M. M., Schober, T. J., Dockery, P. & Arendt, E. K. 2004. Textural comparisons of gluten free and wheatbased doughs, batters and bread. *Cereal Chemistry*, 84: 567-575.

Morreale, F., Garzon, R. & Rossel, C. M. 2018. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free breed. A Study with hydroxypropylmethycellulose. *Food Hydrocolloids*, 77: 629-635.

Niland, B. & Cash, B. D. 2018. Health benefits and adverse effects of a gluten-free diet in non-celiac disease patients. *Gastroenterology & hepatology*, 14 (2): 82.

Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. & Lindhauer, M. G. 2010b. Modification of gluten – free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *Food Science and Technology*, 98: 1-6.

Panfil, P., Dorica, B., Sorin, C., Emilian, M., Ersilia, A. & Iosif, G. 2014. Biological characterization of flour obtained from germinated cereals (wheat, barley and oat). Romanian Biotechnological Letters, 19(5): 9772-7.

Phattanakulkaewmorie, M., Paseephol, T. & Moongngram, A. 2011. Chemical properties of malted sorghum flour and characteristics of gluten free bread. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57: 457-460.

Peressini, D., Braunstein, D., Page, J.H., Strybulevych, A., Lagazic, C., and Scanlon, M.G. 2017. Relation between ultrasonic properties, rheology and baking quality for bread doughs of widely differing formulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8): 2366-2374.

Purlis, E, & Salvadori, V. 2009. Modeling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42: 865-870.

Rajiv,J., Soumya, C., Indrani, D. & Rao, G. V. 2011. Effect of replacement of wheat flour with finger millet flour (Eleusine Corcana) on the batter microscopy and rheology. *Journal of texture studies*, 42(6): 478-489.

Ronda, F., Oliete, B., Gomez, M., Caballero, P. & Pando, V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 112: 272-277.

Sabanis, D., Tzia, C. & Papadakis, S. 2008. Effect of different raisin juice preparations on selected properties of gluten-free bread. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4): 374-383.

Sharma, P. & Gujral, H. S. 2010. Antioxidant and polyphenol oxidant activity of germinated barley and its milling fraction. Food Chemistry, 120 (3): 673-8.

Sit, N., Misra, S. & Deka, S. C. 2014. Yield and functional properties of Taro starch as affected by ultrasound. *Food and Bioprocess Technology*, 7(7): 1950-1958.

Skodje, G. I., Sarna, V. K., Minelle, I. H., Rolfsen, K. L. & Muir, J. G. 2018. Fructan, rather than gluten, induces symptoms in patients with self-reported non-celiac gluten sensitivity. *Gastroenterology*, 154 (3), 529-539.

Sujka, M. & Jamroz, J. (2013). Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and Functional behavior. *Food Hydrocolliods*, 31: 413-419.

Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.

Stathopoulus, C.E., & Okennedy, B.T. 2008. The effect of salt on the rheology and texture of casein based ingredient intended to replace gluten. *Milchwissenschaft*, 63: 430-433.

Tan, M. C., Chin, N. L. & Yusof, Y. A. 2011. Power ultrasound aided batter mixing for sponge cake batter. *Journal of Food Engineering*, 104(3): 430-437.

Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M.& Korus, J. 2016. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1): 571-580.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 423-435

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۴۳۵-۴۲۳

Evaluation of the effect of cheese powder and ultrasonic wave on physicochemical and sensory properties of gluten-free oil cake

B. Sahraiyan[1], F. Pourhaji[2*], B. Alizadeh Behbahani[3]

Received: 2020.05.03
Accepted: 2020.06.22

Introduction: Celiac disease leads to the malabsorption of nutrients and damage to intestinal mucosa. High nutritional value is one of the advantages of dairy powders, associated with their high calcium, protein and essential amino acid contents. Research has shown that such powders boost the gluten quasi-network by forming interfacial films. They are also able to increase the moisture, improve the organoleptic properties, and retard the staling of gluten-free bakery products. In addition, it has been reported that ultrasonic waves can accelerate the oxidation and increase the aeration, volume, porosity and moisture content of bakery products. They can also reduce the hardness and improve the color of such products, thus resulting in the enhancement of their quality and marketability. Consequently, the aim of this study was to improve the appearance, flavor and texture of the gluten-free cake based on rice, germinated quinoa and potato flour using cheese powder at 0, 3, 6 and 9% and ultrasound intensity of 0, 30 and 70% for 5 min.

Material and methods: In this study, cheese powder at 0, 3, 6 and 9% and ultrasound intensity of 0, 30 and 70% for 5 min were used to improve the quality of gluten-free cupcake. Control cake formulation had 70 g rice flour, 15 g germinated quinoa flour, 15 g potato flour, 52 g sugar, 50 g water, 36 g egg, 36 g oil, 12 g invert syrup, 2 g baking powder, 0.2 g vanilla, 1.5 g guar gum and 0.5 g xanthan gum. Moisture, specific volume, firmness, crust and crumb color, sensory properties, porosity and scanning electron microscopy (SEM) (with 100× magnification) were evaluated. To study the effect of processing parameters on color components of gluten-free cupcake, the RGB color space images were converted to *L*a*b* space. For determination of gluten-free cupcake porosity using image analysis, the color images were first gray scaled and then thresholded using isodata algorithm. The porosity was measured from the ratio of white to the total numbers of pixels. Results were reported as the average of three replications. In order to assess significant differences among samples, a complete randomized design of triplicate analyses of samples was performed using the Mini-Tab17. Turkey's new multiple range tests were used to study the statistical differences of the means with 95% confidence.

Result and discussion: Results revealed that moisture content increased as the cheese powder and ultrasound intensity were elevated. Cheese powder caused the moisture content to increase by boosting the gluten quasi-network and ultrasonic waves brought about this phenomenon by dissociating the polymeric chains of starch molecules and forming hydrogen bonds between water molecules and free hydroxyl groups. The sample containing 6% cheese powder sonicated at 30% intensity had higher specific volume (4/4 Cm^3/g) and porosity (31.2%) as well as lower hardness (3.4 and 4.4 N after 2 hours and one week respectively) compared with other samples. Cheese powder, by boosting the gluten quasi-network and improving the dough elastic properties, and ultrasound, through enlarging the air bubbles present in the dough, caused an increase in the porosity, specific volume and softness. The results also indicated that the rise in the cheese powder content up to 6% led to an increase in the L* value (from 44.9 to 53.5) and up to 9% in the a* value (from 2.6 to 8.4) of the gluten-free cupcake crust. On the other hand, the results demonstrated that as the ultrasonic intensity was increased, the L* value of the gluten-free cupcake crumb also increased (from 60.3 to 77.9), while its b* value was reduced (from 17.3 to 7.9). This could be due to the aeration and oxidation acceleration which resulted in the increased whiteness and decreased yellowness of the cake crumb. Finally, the findings of sensory evaluation showed the preference of the samples containing 3 and 6% cheese powder sonicated at 30% intensity (4.2 and 4.4 score). The SEM and binary images of the preferred samples also confirmed the integrity of the internal structure and the gluten quasi-network of these samples, compared with the control.

Keywords: Gluten-free, Ultrasonic, Germinated Quinoa, Porosity, Micro-structure.

1. Food Quality and Safety Research Department, ACECR, Khorasan Razavi Branch, Iran.
2. PhD, Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran .
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
(*Corresponding Author Email: pourhajif@yahoo.com)